第６講　酵素反応の調節，限定要因

【1】

〔文 1〕

葉の表皮には，気孔と呼ばれる小さな穴が多数存在する。気孔は，葉の内部と外界とを結ぶ気体の通り道として，大きな役割を担っている。環境が変化すると，それに応じて気孔の開きぐあいが変わり，気体の出入りが調節される。

気孔の開閉に関わる環境要因の中でも，とくに重要なものに光がある。一般に気孔は，暗い環境で閉じ，明るい環境で開く。光照射で速やかに誘導される気孔開口は，特定の色素タンパク質による光受容を介する。この色素タンパク質は，(ア)光に依存した種子の発芽に関与する色素タンパク質とは種類が異なり，それを反映して，光応答の特徴も，気孔開口と発芽とで大きく異なる。

水分もまた，気孔の開閉を左右する。水分の変化を気孔開閉に結びつける仲介役を果たすのは，アブシシン酸である。水分が不足すると，それが刺激となって植物体内のアブシシン酸濃度が高まり，このアブシシン酸の作用によって気孔が閉じる。

気孔は構造的には1対の孔辺細胞に挟まれた隙間であり，気孔の開閉は孔辺細胞が変形することによる。(イ)この変形に先立つ孔辺細胞の生理的変化については，ツユクサなどを材料に用いてさまざまな実験が行われ，概略が明らかにされている。近年では，シロイヌナズナの突然変異体を利用した解析も進んでいる。

実験１　ツユクサの葉から表皮を剥(は)ぎ取り，これを細胞壁分解酵素で処理して，孔辺細胞のプロトプラストを得た。このプロトプラストを，その体積に比べてはるかに量の多い，やや高張の培養液に浮かべ，直径が変化しなくなるまで，暗所でしばらく静置した。その後，プロトプラストに光を照射したところ，膨らんで直径が増大した。

実験２　アブシシン酸に応答した気孔閉口が起きない突然変異体（アブシシン酸不応変異体）を探し出す目的で，突然変異を誘発したシロイヌナズナを多数育て，アブシシン酸を投与した。アブシシン酸投与後に，サーモグラフィー（物体の表面温度を測定・画像化する装置）により葉の温度を調べ，その結果に基づいて，アブシシン酸不応変異体の候補株を選抜した。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

〔文 2〕

葉の発達と成長にともない，原表皮細胞(未分化で運命の決まっていない表皮系の細胞)の中から，孔辺細胞のもととなる細胞(ここでは便宜的に孔辺前駆細胞と呼ぶ)に分化するものが現れ，この孔辺前駆細胞から最終的に１対の孔辺細胞が形成されて，気孔ができあがる。こうした孔辺前駆細胞および孔辺細胞の分化過程の制御により，気孔の分布パターンと密度は適正に調節されている。

シロイヌナズナでは，気孔の密度が増大した突然変異体がいくつか知られている。そのうちの変異体xでは，孔辺前駆細胞で発現し細胞外へ分泌されるタンパク質Xがつくられなくなっている。また別の変異体yでは，原表皮細胞で発現する細胞膜タンパク質Yがつくられなくなっている。さらにYがXと特異的に結合し得ることもわかっている。これらの結果は，(ウ)XとYが一緒にはたらいて気孔の形成を制御していることを示している。

突然変異など何らかの原因で気孔の密度が大きく変化すると，植物にさまざまな影響が現れる。なかでも植物の成長にとって重要なのは，光合成が受ける影響である。(エ)光合成速度は環境条件に依存するが，(オ)特定の環境下では気孔の密度の影響をとくに強く受ける。

〔問〕

Ⅰ　文１について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ア)について。レタスなどの光発芽種子の発芽に見られる光応答の特徴を，光の波長(色)との関係から35字程度で説明せよ。

B　下線部(イ)について。次の文章は，実験1の結果からの考察を述べたものである。空欄1～3に適切な語句を入れよ。

考察：光照射により孔辺細胞のプロトプラストが膨らんだのは，水が流入したことを示している。一般に植物細胞への水の流入が起きるのは，[1]と細胞外の[2]の和より細胞内の[2]が[3]なったときである。この実験の場合，細胞外の[2]は一定とみなせ，細胞壁がないプロトプラストでは[1]が無視できるので，水の流入の原因は細胞内の[2]が[3]なることであると考えられる。

C　実験２について。アブシシン酸不応変異体を見つけるには，野生型と比べて葉の温度がどうなっている個体を選び出したらよいか，答えよ。また，その理由を70字程度で述べよ。

D　実験２で単離されたアブシシン酸不応変異体が，気孔閉口だけでなく，全てのアブシシン酸応答を示さないとしたら，どのような表現型が考えられるか。気孔閉口の異常とは直接の関係がない表現型を1つ答えよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

Ⅱ　文2について，以下の小問に答えよ。

A　下線部(ウ)について，以下の(a)～(c)に答えよ。

(a)　気孔の形成の制御におけるXとYの役割はどのようなものと考えられるか。次の(1)～(4)から最も適切なものを選んで答えよ。

(1)　原表皮細胞が孔辺前駆細胞に分化するのを促す。

(2)　原表皮細胞が孔辺前駆細胞に分化するのを妨げる。

(3)　孔辺前駆細胞から孔辺細胞が形成されるのを促す。

(4)　孔辺前駆細胞から孔辺細胞が形成されるのを妨げる。

(b)　Yは細胞外のXの有無を感知して，その信号を細胞内に伝える役割を果たしていると推定される。次の2つの方式(1)と(2)のうち，X－Yの信号伝達の説明として不適切なものはどちらか，答えよ。また，その理由を70字程度で述べよ。

(1)　Xがないとき，Yは活性をもたない。Xを受け取ると，Yは活性化し，細胞内で反応を引き起こす。この反応の開始が，X感知の信号となる。

(2)　Xがないとき，Yは活性をもち，細胞内で一定の反応を引き起こしている。Xを受け取ると，Yは不活性化し，反応が止まる。この反応の停止が，X感知の信号となる。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(c)　変異体xとyでは，野生型と比べて，気孔の密度だけでなく，分布パターンも変化していた。どのような傾向の変化か。XとYのはたらき方から考え，次の(1)～(6)から最も適切なものを選んで答えよ。なおランダム分布は単純な確率に従ってランダムに分布すること，集中分布は特定の部位に密集して分布すること，均等分布はほぼ等間隔で一様に分布することである(図1－1)。

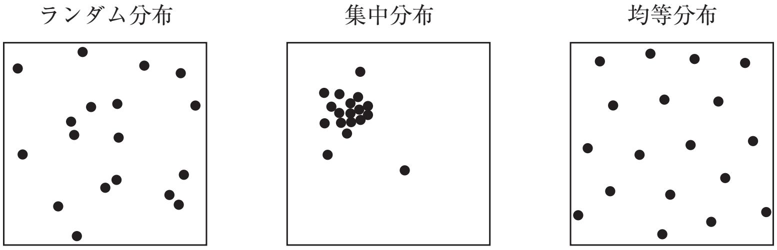


図１－１　分布パターンの模式図(全体の密度が同じになるように描いたもの)

(1)　集中分布に近いパターンから，均等分布に近いパターンへの変化。
(2)　集中分布に近いパターンから，ランダム分布に近いパターンへの変化。
(3)　均等分布に近いパターンから，集中分布に近いパターンへの変化。
(4)　均等分布に近いパターンから，ランダム分布に近いパターンへの変化。
(5)　ランダム分布に近いパターンから，均等分布に近いパターンへの変化。
(6)　ランダム分布に近いパターンから，集中分布に近いパターンへの変化。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

B　下線部(エ)について。野生型のシロイヌナズナにおける，見かけの光合成速度（葉面積当たりのCO_2吸収速度，以下では単に光合成速度という）と光強度および外気のCO_2濃度との関係を，葉の温度を一定に保てる装置を用いて，同一の温度条件で調べたところ，図1－2に示すような曲線が得られた。外気のCO_2濃度が0.04％で光強度が①のときと②のときのそれぞれについて，光合成の限定要因が何か，答えよ。

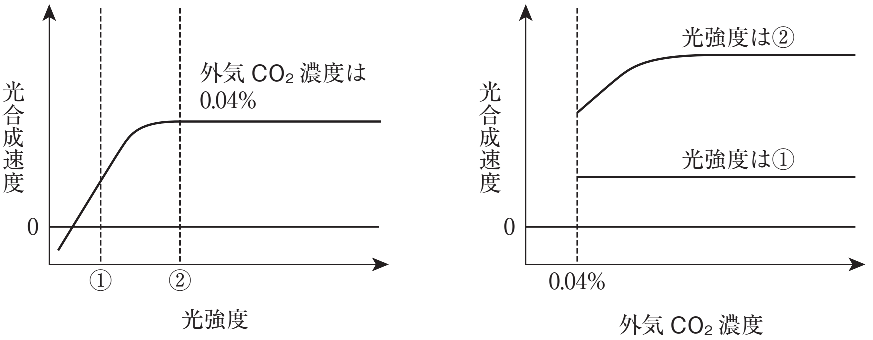


図１－２　野生型における光強度および外気CO_2濃度と光合成速度との関係

C　下線部(オ)について。今ここに気孔の密度が野生型の2倍程度に増大した突然変異体zがある。この変異体を用いて，いろいろな光強度のもとで葉の気体透過性（表皮を横切る気体移動の起きやすさを葉面積当たりで示したもの）を測定してみると，図1－3のようにどの光強度でも野生型より高くなっていた。次にこの変異体の光合成速度を，光強度を変えたり外気のCO_2濃度を高くしたりした条件で測定し，野生型と比べようと思う。どのような結果が予想されるか。外気CO_2濃度0.04％のときの光強度－光合成速度のグラフを次の(1)～(6)から，光強度②のときの外気CO_2濃度－光合成速度のグラフを以下の(7)～(12)から，それぞれ最も適切なものを選んで答えよ。なお，測定は，葉の温度を一定に保てる装置を用いて，すべて同一の温度条件で行うものとする。また，各グラフ中の破線の曲線は野生型の光合成速度を示す。

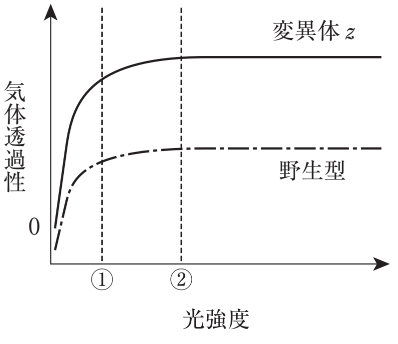
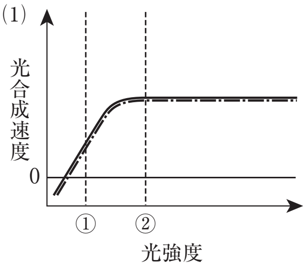
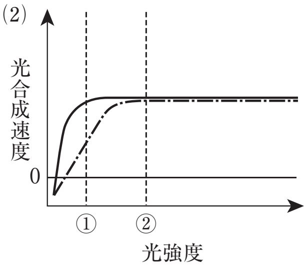
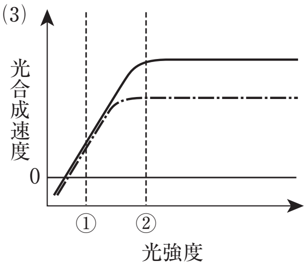


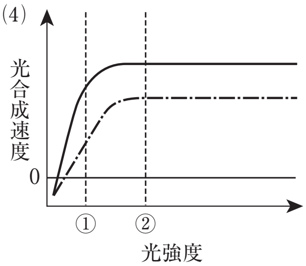
図１－３　外気CO_2濃度が0.04％のときの光強度と気体透過性の関係

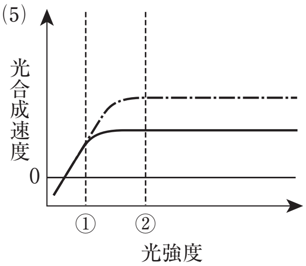
ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

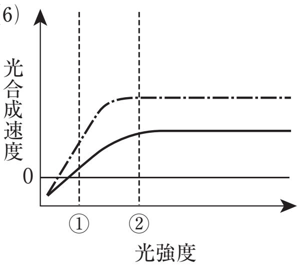
(1)


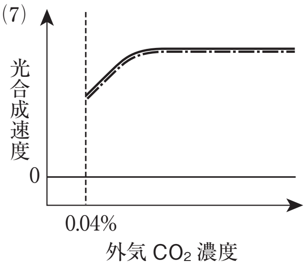
(2)


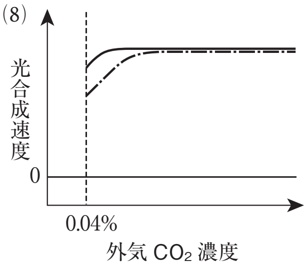
(3)


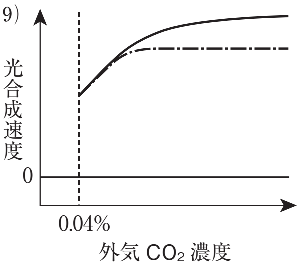
(4)


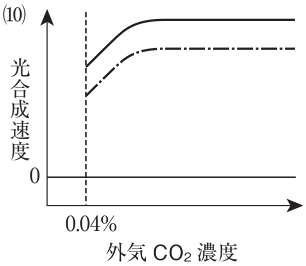
(5)


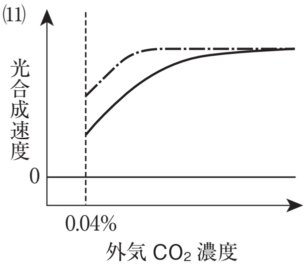
(6)


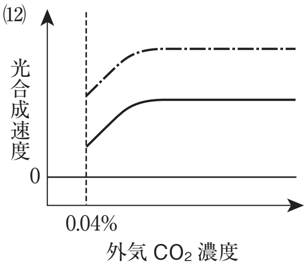
(7)


(8)


(9)


(10)


(11)


(12)


ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

【2】 次の文を読み，下記の設問１～４に答えよ。

酵素Ａは酵母の解糖系の酵素であり，以下の式に示すように基質Ｓをリン酸化してＳ－Ｐを生成する反応を触媒する。

式）Ｓ ＋ ATP ⟶ Ｓ－Ｐ ＋ ADP

酵素Ａには，活性部位とアロステリック部位がそれぞれ1個ずつ存在し，ATPはいずれの部位にも結合することができる。

図１には，精製した酵素Ａを用いて，生成物Ｓ－Ｐの生成速度とATP濃度との関係を調べた結果を実線で，また，ADP存在下における生成物Ｓ－Ｐの生成速度とATP濃度との関係を調べた結果を点線で示した。この時の基質Ｓの濃度は0.8mmol/Lであり，また，ADPは活性部位には結合せずアロステリック部位にのみ結合することが分かっている。

図2には，精製した酵素Ａを用いて，低濃度のATP（0.8mmol/L）と高濃度のATP（2.5mmol/L）の存在下における生成物Ｓ－Ｐの生成速度と基質Ｓの濃度との関係を示した。図2には示していないが，高濃度のATP（2.5mmol/L）存在下での生成物Ｓ－Ｐの最大生成速度は，低濃度のATP（0.8mmol/L）存在下でのそれと同じである。

なお，図1と図2の実験で用いた酵素Ａの濃度は，基質S，ATPやADPの濃度に比べて極めて低い。

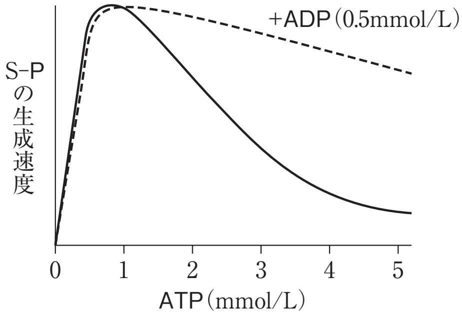


図１

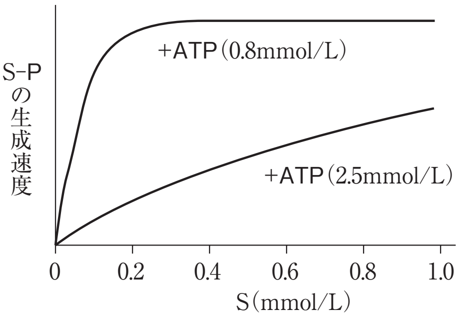


図２

1．図１と図２の結果をもとに，この酵素反応の説明としてもっとも適当なものはどれか。次のa～eから１つ選べ。

a. アロステリック部位に結合したATPは，基質Sが活性部位に結合するのを阻害しない。

b. ADPがアロステリック部位に結合すると，ATPは活性部位に結合しにくくなる。

c. 濃度が1mmol/Lを超えるとATPはアロステリック部位に結合し，基質Ｓが活性部位に結合するのを阻害するので，生成物Ｓ－Ｐの生成速度が抑制される。

d. ADPがアロステリック部位に結合すると，酵素－基質複合体から生成物Ｓ－Ｐが生じる速度は増加するので，ATPによる抑制は解除される。

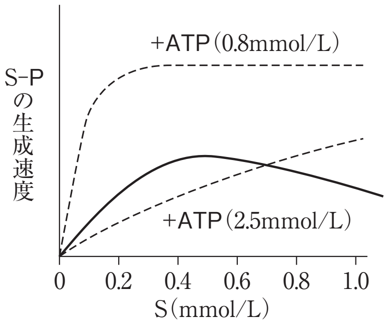
e. ADPがアロステリック部位に結合すると，ATPが活性部位に結合しやすくなり，酵素－基質複合体から生成物Ｓ－Ｐの生じる速度は増加する。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

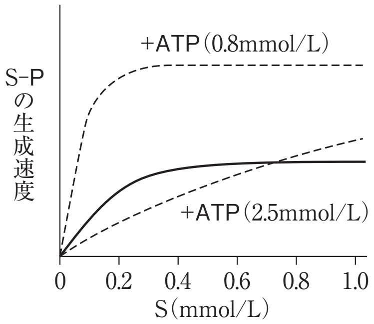
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2．図１に示したように，高濃度のATPによる阻害作用はADP存在下では抑制される。図1ならびに図2の結果をもとに，酵素反応をATP（2.5mmol/L）とADP（0.5mmol/L）存在下で行ったとき，S－Pの生成速度と基質Sの濃度との関係を示すもっとも適当な図を，次のa～fから１つ選べ。なお，図a～fには図２の結果を点線で示してある。

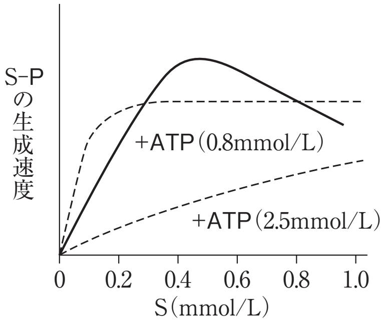
a



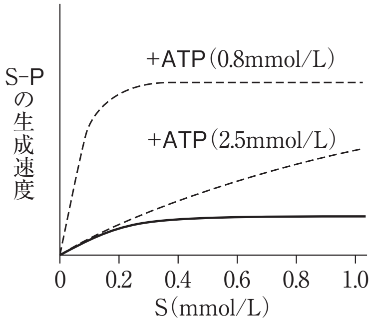
b



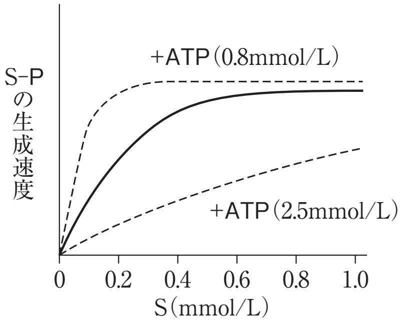
c



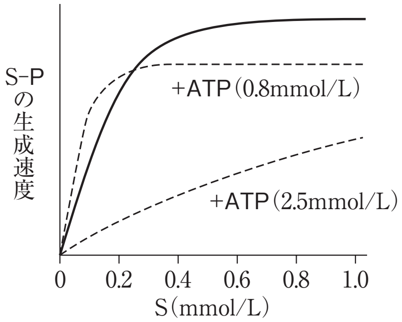
d



e



f



3．図１に示した現象が酵母の細胞内でも同様に起こっていることが分かっている。ATPによる酵素Aの阻害は酵母にとってどのような生物学的意味があるのか，40字以内で答えよ。

4．酵母は呼吸とアルコール発酵を行う。酵母の培養液に，呼吸基質であるグルコースを加えると，グルコースが0.2モル消費され，その呼吸商は1.5であった。このとき，アルコール発酵で消費されたグルコースの量［モル］を求めよ。

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第６講　確認テスト

酵母菌の呼吸に関する次の文章を読み，以下の問いに答えよ。

酵母菌は，環境条件の違いによって，①異化の方法を変えることができる。酵母菌の好気的な呼吸は細胞質基質とミトコンドリアで行われる。グルコースが低濃度で含まれる培養液において酵母菌に酸素を与えて培養すると，ミトコンドリアが発達する。呼吸では，グルコースは細胞質基質で(　ア　)まで代謝されて，ミトコンドリアへ輸送される。(　ア　)は，さらに代謝されて最終的に(　イ　)と(　ウ　)に分解されるが,(　イ　)はクエン酸回路で,(　ウ　)は電子伝達系で生成される。一方，②グルコースが高濃度で含まれる培養液において酸素を与えずに酵母菌を培養すると，ミトコンドリアは呼吸のときほど発達せず，エタノールが生成される。したがって，酵母菌はミトコンドリアが発達していなくても生育が可能である。

問１　文章中の空欄(　ア　)～(　ウ　)に入る適切な語句を答えよ。

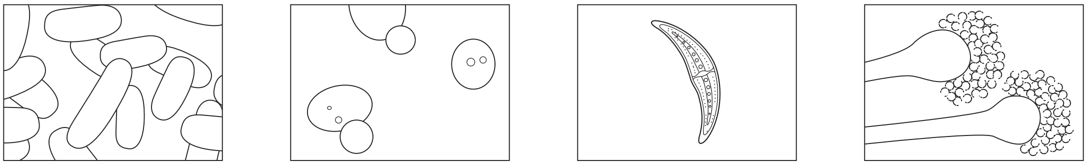
問２　蒸留水中ではヒトの赤血球は破裂するが，酵母菌は破裂しない。酵母菌が破裂しない理由を答えよ。

問３　下線部①に関して，呼吸や発酵の結果，エネルギーに直接利用できるATPが合成される。ヒトの筋肉が急に収縮するとき，ATPは呼吸や解糖以外の方法によっても合成される。呼吸や解糖によらないでATPが合成されるしくみを答えよ。

問４　下線部②に関して，⑴～⑶の問いに答えよ。

⑴　グルコースを呼吸基質とした場合，エタノールが生成される反応の名称を答えよ。

⑵　日本酒に含まれるエタノールは酵母菌がつくりだしたものである。日本酒の製造には，酵母菌の他に，乳酸菌とコウジカビも利用されている。次の顕微鏡で見たA～Dから，酵母菌，乳酸菌およびコウジカビの写真をそれぞれ選び，その記号を答えよ。



A　　B　　C　　D

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

(3)　エタノールが生成される過程で，グルコースは分解されて炭素数3のC_3物質が２分子できる。そのC_3物質は脱水素酵素により酸化されて別のC_3物質になり，このとき酸化型補酵素Ｘが還元される。酸化型補酵素Ｘはグルコースに比べて細胞に少量しか含まれていない。この脱水素酵素の反応が進むにつれ，酸化型補酵素Ｘの量が減り続けると予想されるが，実際には細胞内の酸化型補酵素Ｘは供給されるので枯渇せず，酵母菌は脱水素酵素の酸化反応を続けることができる。酸化型補酵素Ｘが供給されるしくみを答えよ。

問５　ミトコンドリアと葉緑体は，よく似た特徴を持つ細胞小器官である。呼吸を行っている細胞のミトコンドリアや光合成を行っている細胞の葉緑体では，特定の部位に水素イオンが蓄積する。それぞれの細胞小器官における水素イオンの蓄積部位を答えよ。

問６　原核生物である細菌にもO_2を用いた呼吸を行うものがある。呼吸の代謝はクエン酸回路と電子伝達系からなる。真核生物の進化の観点から，細菌の電子伝達系が細胞のどこにあるかを推測し，その場所を答えよ。また，そのように考えた理由を説明せよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第6講

【1】

Ⅰ

A　赤色光で発芽が促進され，より波長の長い遠赤色光で発芽が抑制される。(33)

B　1　膨圧　　2　浸透圧　　3　高く［大きく］

C　低くなっている個体，理由…アブシシン酸不応変異体は気孔を閉じることができないため，蒸散が盛んで葉の温度が下がっている個体を選択すれば良い。

D　種子の休眠が維持できない

Ⅱ

A

(a)　(2)

(b)　(2)

理由…(2)の場合，変異体yはYをつくれないため細胞内で一定の反応が起こらないはずだが，実際の変異体yでは気孔が多数形成されているため説明は矛盾している。(72)

(c)　(4)

B　①　光強度　　②　(外気)CO_2濃度

C　外気CO_2濃度0.04％…(3)　　光強度②…(8)

【2】

1．c

2．e

3．ATPが多量に存在するときには解糖系の反応を抑えてグルコースの消費を抑えるため。(40)

4．0.12［モル］

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第６講　確認テスト

問１　ア　ピルビン酸　　イ　二酸化炭素　　ウ　水

問２　酵母菌には細胞壁があり，細胞の形態保持が行われるから。

問３　筋肉に貯蔵されているクレアチンリン酸とADPが反応することでクレアチンとATPが合成される。

問4

⑴　アルコール発酵

⑵　酵母菌…B　　乳酸菌…A　　コウジカビ…D

⑶　酵母菌は還元型補酵素Xを用いてアセトアルデヒドを還元してエタノールを生成する。その際に還元型補酵素Xが酸化型補酵素Xとなり，それが供給される。

問５　ミトコンドリア…内膜と外膜の間［膜間腔，膜間スペース］

葉緑体…チラコイド内

問6　細胞膜

理由…ミトコンドリアの電子伝達系は，ミトコンドリアの祖先である好気性細菌の細胞膜に由来するミトコンドリア内膜上に存在するため。

【解説】

問１　呼吸は解糖系，クエン酸回路，電子伝達系の過程に分けられる。各反応の基質と生成物を把握しておきたい。グルコースを基質とした場合，解答系の生成物はピルビン酸である。クエン酸回路では，ピルビン酸と水から，二酸化炭素と水素(還元型補酵素)を生じる。電子伝達系では, 水素(還元型補酵素)と酸素が反応して水を生じることになる。

問２　酵母菌は真核生物の菌界に属し，細胞壁をもつ。植物のもつセルロースを主成分とした細胞壁とは異なる成分で出来ているが，膨圧を生むことで細胞の吸水破裂を防いでいる点は同じである。

問３　筋肉中には高エネルギーのリン酸化合物としてクレアチンリン酸が蓄積している。筋収縮によってATPが分解された場合，クレアチンリン酸からのリン酸基の転移によって即時的にADPからATPが再合成される。この過程があるおかげで，急激な運動の際でも筋細胞内のATP濃度が下がり切ることがなくなる。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

問４

⑵　A～Dのスケッチのなかには，酵母菌，乳酸菌，コウジカビのものが含まれている。Aは円筒状の形態を示していることから，乳酸菌を描いたスケッチである。Bは楕円形の形態を示し出芽している様子が観察されることから，酵母菌であると考えられる。Cは三日月形の形態をしめすミカヅキモであると考えられる。Dのタンポポの綿毛のように広がる構造は，コウジカビの胞子(生分子)が何列も鎖状に連なっている様子を示している。どれも典型的なものであるので，観察する眼を鍛えておきたい。

⑶　文章は，解糖系の過程で，ピルビン酸の生成に伴って補酵素X(NAD^+)が還元されることを説明している。生成した還元型補酵素Xはアセトアルデヒドを還元してエタノールを生じる反応で消費され，その結果，酸化型に戻る。

問５　ミトコンドリアと葉緑体では，それぞれATPが合成される。そのどちらも，電子伝達系を用いたH^+濃度勾配の形成の過程とATP合成酵素を通じたH^+濃度勾配の解消によるATP合成の過程からなる。ミトコンドリアでは，電子伝達系によってH^+がマトリックスから膜間腔に能動的に運ばれ，濃度勾配に従って膜間腔からマトリックス側に流入する際にATPが合成される。一方，葉緑体では，電子伝達系によってH^+がストロマからチラコイド内に能動的に運ばれ，濃度勾配に従ってチラコイド内からストロマに流出する際にATPが合成される。前者は酸化的リン酸化，後者は光リン酸化と呼ばれる。

問６　ミトコンドリアは，好気性細菌が宿主となる原始的な真核細胞に共生することで進化してきたと考えられている。ミトコンドリアによるATP合成の要は電子伝達系とATP合成酵素である。両者はミトコンドリア内膜に埋まっており，ミトコンドリア内膜は好気性細菌の細胞膜に由来することを考慮すると，好気性細菌の電子伝達系は細胞膜上にあったと考えられる。

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。